

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

中国南方的礁控矿床*

曾允孚 田洪均

(成都地质学院)



本文根据生物礁(层)在成矿过程中的作用把中国南方礁控矿床分为直接型、间接型和被动型 3 大类,并列举了几个典型矿床实例进行论述和总结。研究礁控矿床除分析有利于成矿的沉积相带外,应特别注意同沉积断裂在成礁和成矿过程中的作用,以及礁岩中古油气藏对形成硫化物矿床的重要性。

前 言

近年来在我国南方各地碳酸盐岩地层中陆续发现和重新认识的礁控矿床是指产于碳酸盐岩中,并在成因上直接或间接地与生物礁有关的一类层控矿床,它是密西西比型层控矿床的重要类型。从时代上看,这类矿床从震旦系、寒武系一直到三叠系都有发现,其中特别是泥盆系的礁控铅、锌矿床及黄铁矿矿床,其数量之多,类型之丰富都为世界所瞩目。笔者在研究这些矿床时发现,由于生物作用造成的沉积微相和早期成岩地球化学环境是铅、锌矿及黄铁矿、菱铁矿等富集的基本条件,而后期热卤水的叠加改造则是形成矿床的必要条件。本文试图根据生物礁在成矿过程中的作用把这类矿床分为 3 大类进行总结。即:直接型——造礁生物通过生命活动直接吸收和富集成矿元素;间接型——成矿作用发生在礁(或滩)控潟湖(或其它凹陷)内;被动型——礁岩提供容矿空间和有利的物理-化学环境,成矿溶液来自后期深循环热卤水和地层水。

一、礁控矿床的基本类型

(一) 直接型

这类矿床其时代是以震旦纪和早古生代为主,礁的类型以由叠层石构成的藻礁和生物层为主,矿体或含于礁内,或分布在礁后潟湖潮坪的藻席上,说明成矿物质的沉积和早期成岩富集作用是发生在藻礁内。后期的构造作用和热液的改造能造成矿体的再分配和局部富集,使得原始成矿特征变得模糊。

* 本文是根据近年来成都地质学院沉积研究所有关科研成果汇集而成。除作者外,张锦泉、郑荣才、徐新煌、唐德章、耿爱琴、杨卫东、陈志洪等都作了大量工作。此外,还使用了协作单位广西地质矿产局周怀玲、石涣琪、胡纯生等人的有关资料。

本文 1987 年 12 月收到,1988 年 5 月改回,季国容编辑。

1. 贵州开阳磷矿

黔中上震旦统陡山沱组磷块岩分布于遵义、湄潭、息峰、开阳、瓮安和福泉等地。其中开阳磷矿主要是叠层石磷块岩，且多为磷质柱状叠层石。据杨卫东(1987，私人通讯)研究，叠层石中的富藻层由胶状磷灰石、有机质和黄铁矿组成，常有残存的藻丝体和球状体。富屑层由磷质砂屑和藻屑组成。柱体之间充填磷质砂屑。从图1可见，当时矿区处于台地边缘相带，各种形态的叠层石在这一带极为发育。自北而南可分为叠层石—层纹石—磷质砂屑滩3个相带。其中温泉一带的柱状叠层石常构成潮间下部至潮下带的连续藻礁，层纹石则在潮间上部至潮上带构成藻席。

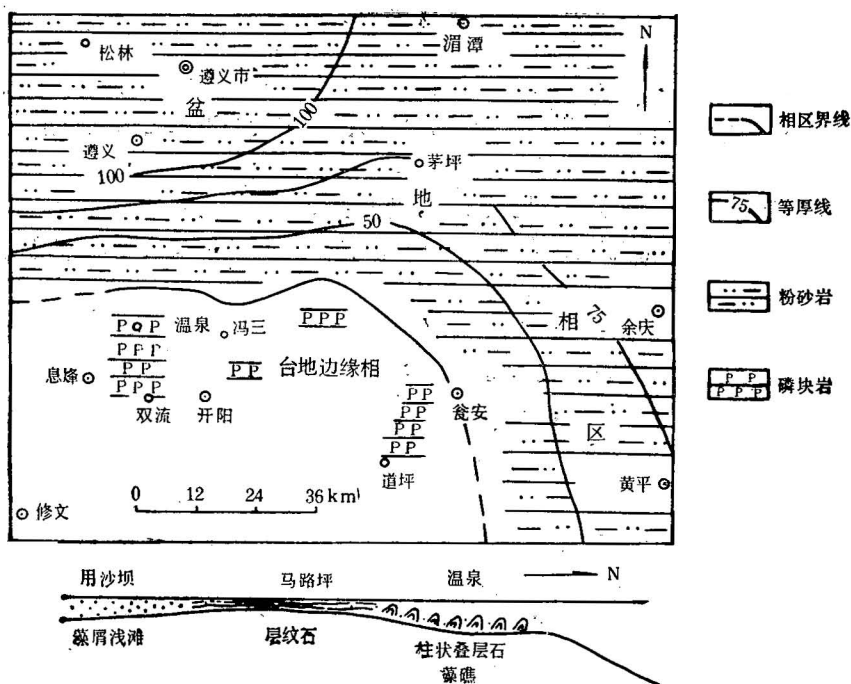


图1 黔中地区晚震旦世沉积相分布及藻礁模式图

(据杨卫东, 1987)

Fig. 1 Sedimentary facies and model of stromatolitic algal-reef of central Guizhou in late Sinian period (After Yang Weidong, 1987)

台地边缘富磷机理是：(1) 该带具活跃的洋流或海流循环作用，有大量的磷质供给（来源于海底火山喷发）；(2) 该带水浅、充氧，营养充足，使藻类得以繁茂而形成大量叠层石和藻礁；(3) 磷是生物体的重要元素之一，大量藻类对磷质的吸取和固定作用促使了磷的沉积转移。一些藻丛本身还可大量障积和粘结磷质砂屑，造成磷的初次沉积富集。

藻类死亡分解后，有机磷随即转化为无机磷而进入孔隙水，发生磷的过饱和和沉淀。这就是磷的成岩原生富集。以后再经过一系列的物理、化学或表生富集作用而成为矿床。这里，磷质是通过藻的生命活动而在沉积期就发生固定和沉淀，磷本身就是藻礁的重要组成部分，因此这是一个典型的礁控沉积矿床。

2. 云南东川式铜矿

所谓东川式铜矿是指产于元古界昆阳群落雪组白云岩中的层状铜矿带,分布范围北起四川通安,南至云南元江。在东川地区矿赋存于该段地层的叠层藻礁和藻蓆中。斑铜矿和辉铜矿沿叠层石基本层分布,构成特有的“马尾丝”状。藻礁一般宽几十米至上百米,高约 6—20m。藻蓆则镶嵌在潮滩上,由层状和瘤状叠层石组成。

冉崇英^[1]认为成矿物质铜主要来自下伏的紫色层(铜的背景值达 1000ppm 以上)。另外,一些火山岩铜矿经“东川运动”后遭风化剥蚀也提供了大量铜^[2]。根据铜矿中硫同位素(东川: $\delta^{34}\text{S} = -1.4 \sim +14.4\%$, 易门: $-8.0 \sim +23.2\%$)分析^[1],海水中硫酸盐与被掩埋藻丝体中的厌氧细菌还原分解所产生的 H_2S 是硫的主要来源。通过藻对金属离子的强烈吸附作用,使从下伏红层中来的铜质在叠层石礁和礁控潟湖中得到富集。潟湖和潮滩中由于卤水回流(藻礁上)和蒸发泵作用(藻蓆上)使藻灰岩发生白云石化。此时藻丝体发生氧化而使吸附的铜活化释放出来,再与藻层中的 H_2S 相结合而形成铜的胶状硫化物沉淀。

当然,藻礁的直接富集作用只是初步的,真正形成矿床还需要通过埋藏后含铜溶液在地静压力作用下由下往藻礁体中运移,并不断地与礁岩内 H_2S 反应生成铜的硫化物方能实现。

这类矿床的共同特点是:含矿层位均为古老的寒武系或震旦系,容矿岩体均为藻礁或藻蓆,成矿元素通过藻类的生命活动而富集,最后在成岩—后生期形成矿床,因此矿床类型应为沉积—成岩型礁控矿床。

(二) 间 接 型

属于此种类型的矿床有:湖南城步铺头黄铁矿床、贵州赫章菱铁矿等。

湖南城步铺头生物礁是一个沿着台盆同沉积断裂抬升盘发育起来的复体丘礁群,高约 150m,宽约 400m,延伸 1500m 以上。可划分出 4 个礁—滩旋回。主要造礁生物为层孔虫和群体珊瑚。据唐德章(1982)和徐新煌^[3]研究,该黄铁矿为一典型的早期成岩矿床。成矿环境为一受礁、滩控制的间歇性半封闭弱动荡—平静的滞流台盆,水深 50—80m。含矿岩系和复礁体同属中泥盆世棋梓桥晚期产物,二者在演化上存在着密切的时空关系。矿体受礁体屏蔽强度的控制——只有在礁体相对发育地段的近陆安静还原台盆中矿体才发育;矿体也受复礁体旋回性的控制——只有在造礁期,特别是礁体发育旺盛期,礁控台盆处于最安静,有机碳埋藏最快时才形成矿层,而在造滩期则形成非矿层(图 2)。黄铁矿沿层埋分布,具草垫状结构,是典型的早期成岩矿物。 $\delta^{34}\text{S} = -18.6 \sim -30.10\%$,说明硫为生物成因。矿床形成经历了以下阶段:(1)古陆来的铁质在盆地沉积物孔隙水中以 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 的形式初步富集,(2)厌氧细菌将海水硫酸盐还原生成 H_2S ;(3) H_2S 进入含矿岩系与其中的 Fe^{2+} 反应生成 FeS 。厌氧细菌进一步分解有机质产生大量氨气和甲烷,使环境成为还原和弱酸性,有利于反应继续进行;(4) FeS 与过量的 H_2S 反应

1) 四川高校编辑出版发行中心,1986,湖南城步黄铁矿床的地质特征及成矿环境和成矿机理。智力开发丛刊。

生成黄铁矿 (FeS_2)。

此外，贵州赫章地区中—上泥盆统的菱铁矿带也属这种成因类型。该矿带分布在江南古陆南缘，赋存于受断续状堤礁和生物滩所控制的潟湖相白云岩中。菱铁矿是通过潮坪带形成的含矿重卤水向潟湖回流而生成的，所以菱铁矿化与白云石化关系十分密切。

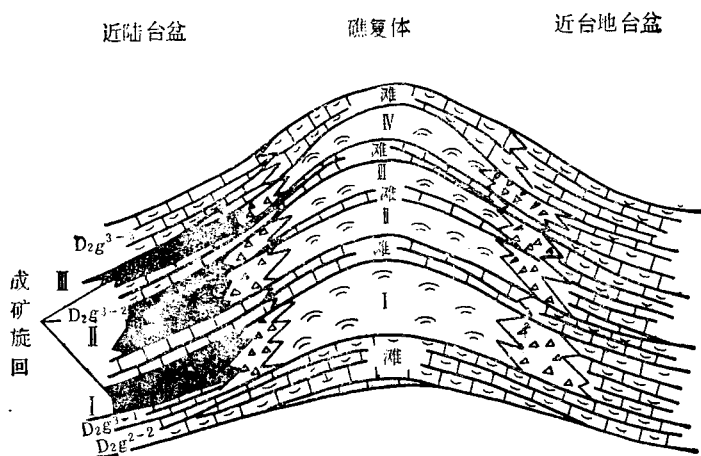


图2 城步黄铁矿含矿岩系与生物礁时空关系示意图

(据徐新煌, 1986)

第 II 和第 III 造礁旋回实际上为一大旋回, 与之相对应的是第 II 成矿期; D_2q^{1-2} 棋子桥组二段二层; D_2q^{3-1} , D_2q^{3-2} , D_2q^{3-3} 分别为棋子桥组 3 段 I、II、III 层

Fig. 2 Time-space relationship between organic reef and pyrite-bearing rock formation

(After xiu xinhuang, 1986)

In fact, the second and third reef-building cycles belong to a macrocycle corresponding to the second ore forming period

礁控潟湖内成矿的其它实例还有湖南后江桥上泥盆统中的方铅矿-闪锌矿-黄铁矿矿床和四川若尔盖地区志留系的铀矿(据唐朝辉, 私人通讯)。

礁控潟湖成矿的共同特点是: (1) 由于造礁生物以及地球化学条件的差异, 早古生代以后的生物礁(或生物滩)与古老的、仅由藻类构成的礁不同, 一般不直接参与聚矿过程, 而只是造成一个有利于矿质浓缩沉淀的地形和地球化学障壁——礁控潟湖; (2) 水浅蒸发强的礁控潟湖成矿时多伴随有白云石化作用(如后江桥矿区, 赫章矿区), 常生成与碳酸盐有关的金属矿。而较深的潟湖或台盆则多生成金属硫化物, 围岩蚀变也较弱(如城步矿区); (3) 一般都直接形成沉积—成岩早期的层状矿床, 矿体沿层分布, 严格受沉积相的控制, 但也可受到较强烈的后期改造。

(三) 被动型

在中国南方, 除一些古老的藻礁外, 通过造礁生物的生命活动直接成矿的例子并不多见。更常见的情况是, 多孔而又富含有机质的生物礁岩, 正好处于既控相又导矿的同沉积深断裂附近的沉积高点上, 因而在构造—成矿期可成为矿液流通和沉淀的有利场所。在此

过程中生物礁充当的是间接和被动“矿捕”¹⁾角色。这一类礁控矿床在我国南方泥盆系中极为常见,且多为大矿或富矿。

1. 广西大厂铅-多金属硫化物矿床

大厂龙头山生物礁,是一个从早泥盆世晚期开始在总的海侵背景上,多旋回地建造起来的叠置礁。具5个礁-滩相间的演化旋回,长超过4km,宽2.5km,厚930m,高:宽为1:3。这是一个长在河池-南丹断陷台盆内孤立的宝塔礁,西陡东缓呈似马蹄形,四周同期沉积物为黑色页岩和泥灰岩。造礁生物主要是多种形态的层孔虫和床板珊瑚。

大厂是我国最大的锡矿,矿点很多,赋存于生物礁中的是100号锡石-硫化物矿体。笔者认为该矿床形成过程可归纳为3个阶段:(1)沉积期,本区强烈的拉张运动,使大量元素随上升热水和喷气沿深断裂(如紫云-都安大断裂)从地壳内带出并进入沉积物,使泥盆系成为铅、锌及部分锡的矿源层;(2)成岩期,含矿卤水在该地热异常带形成并向有利的构造或沉积高点(如礁岩)运移。古油气藏可能形成于该期;(3)构造期,混合叠加成矿,燕山期发生大规模岩浆活动,岩浆热液(带来锡)沿深断裂上升,与热卤水(带来铅、锌)和油气(提供硫)在多孔还原的礁灰岩中发生混合和相互作用,沉淀出极富的矿体。这里,礁灰岩是矿液运移和聚沉的“矿捕”,而礁顶泥灰岩则是良好的盖层。据脉石矿物石英和方解石推算的成矿溶液的 $\delta^{18}\text{O} = +4.01 \sim +11.00\%$,比岩浆水的范围宽,反映了地层水与岩浆水的混合。此外,方解石的 $\delta^{13}\text{C} = -0.96 \sim -7.89\%$,区间宽且均为负值,说明主要为生物成因的轻碳(来源于油气)^[3]。该矿床与其它层控矿床的不同在于有岩浆热液的加入,因而是地层水、热卤水和岩浆水混合叠加成矿。

2. 云南广南木利铍矿

云南广南县木利台地边缘堤礁形成于早泥盆世坡脚期,长度大于8km,宽大于1km,成北西-南东向延伸,核部厚20~70m,宽:高大于1:4。是长达数十公里的木利-达莲塘礁滩带的重要组成部分。主要造礁生物是层孔虫和珊瑚。后期褶皱已使礁体成为倒转背斜的核部。

据陈志洪(1987,私人通讯)研究,铍矿无一例外地都赋存于礁灰岩内,矿化与礁顶的硅化作用紧密伴生。致密块状矿石在礁核部呈粗脉状和囊状充填,并强烈硅化。在礁顶薄层状生物碎屑灰岩中,铍矿主要充填在层间虚脱面上,硅化较弱。成矿物质来源于泥盆系的泥质岩和硅质岩(与火山喷发有关)。辉铍矿硫同位素 $\delta^{34}\text{S} = -10.63 \sim -14.5\%$,说明硫为生物成因。硅化与矿化的密切关系反映成矿卤水是富硅的, SiO_2 是铍的搬运载体,或是同路迁移者。(1)沉积期,盆地内矿质初步富集;(2)成岩期,含矿热卤水形成和迁移;(3)构造期,热液沿同沉积断裂进入礁组合构成的背斜核部富集成矿。礁灰岩中古油气藏和页岩中的有机质提供了大部分硫和酸性环境。

3. 广西环江县北山黄铁矿床

北山生物礁位于江南古陆南缘的环江县,上朝背斜的东南翼。面积约8km²,呈南

1) 曾允孚、田洪均,1981,生物礁与成矿作用。沉积专辑,成都地质学院。

北向延伸,长 6km,宽度平均为 2.2km,已控制的最大厚度为 667m。这是一个在海进过程中,于上朝半局限台地的边缘,向开阔海一侧发育起来的丘状叠置礁(图 3)。自下而上可分为两个成礁期:下部洞芒礁属中泥盆世东岗岭早期;上部北山礁属东岗岭晚期一晚泥盆世桂林期。造礁生物为各种形态的层孔虫,以及蓝绿藻的绵层藻类。前者构成

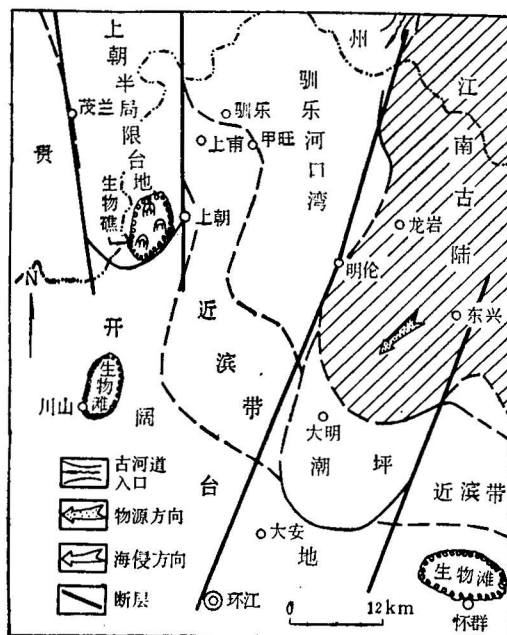


图 3 示北山生物礁沉积环境及其与古构造的关系
(据胡纯生、周怀玲,1986)

Fig. 3 Relationship between paleotectonics and the sedimentary environment of organic reef of Beishan, Guangxi province (After Hu Chunsheng, Zhou Huailing, 1986)

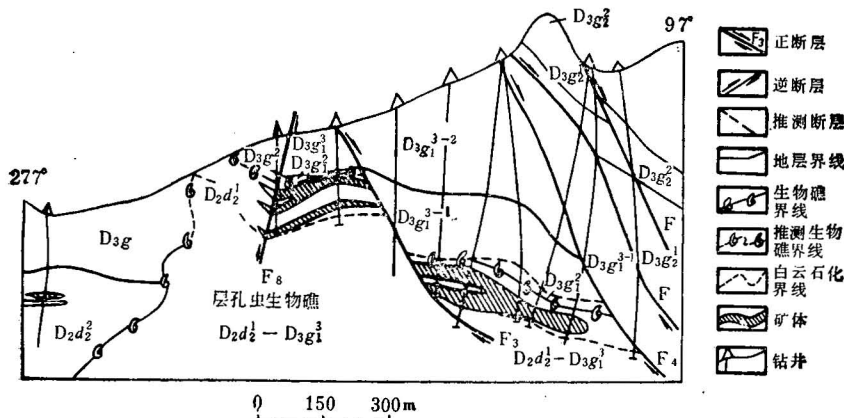


图 4 北山矿床 61 号勘探线剖面图
(据石涣琪、周怀玲、胡纯生, 1986)

D₂d 中泥盆统东岗岭组; D₃g 上泥盆统桂林组

Fig. 4 The section of 61# exploratory line in Beishan deposit, Guangxi province
(After Shi Huanqi, Zhou Huailing, Hu Chunsheng, 1986)

礁核和礁坪;后者则以藻席、藻凝块和藻包壳等生物沉积组构形式出现于礁核和礁缘。矿体赋存于两组礁体中,但以晚期为主。矿石具沉淀分带,多为黄铁矿在下,方铅矿、闪锌矿富集于上。可见同心状、肾状等胶状沉淀构造。矿产于礁顶白云岩中,形态和规模受生物礁岩的控制(图4)。据周怀玲、胡纯生等(1986)^[4]研究,成矿元素来自古陆风化壳,硫来自礁生物的分解。矿质初步富集在海湾和台盆沉积物中,之后再经深循环热卤水溶滤而带到适当的沉积或构造高点。本区的一组北北东向同沉积断裂不但控制了沉积相的展布,而且也是后期良好的导矿通道(图3,4)。礁岩中普遍含沥青和有机碳(分别平均为15.68ppm, 0.18%),说明热卤水是与油田水相混合而成矿的。礁顶白云石化与矿化关系十分密切。矿化层位随着白云石化层位由南向北(海侵方向)逐渐升高而升高,即从泥盆统至上泥盆统依次均有矿体产出。早期成岩白云石化(混合水白云石化)增加了岩石孔隙率,为后来的矿液增加了通道。成矿期白云石化则是矿化的先导。

被动型礁控矿床的另一实例是广西泗顶铅-锌矿(曾允孚、郑荣才等,1986)^[5]。在中泥盆世东岗岭期至晚泥盆世融县早期,大量的层孔虫珊瑚丘礁和点礁沿江南古陆南缘泗顶—古丹一带分布,其生长位置受“Y”字型相交的同沉积断裂控制。生物礁发育在每一海侵旋回的下部,碎屑岩之上的碳酸盐岩中,因此赋存于礁灰岩中的铅-锌矿也受“层、相、位”的控制。

属于这类成因的还有川东—湘西一带早寒武世清虚洞期礁、滩相灰岩中的层控铅-锌矿床。

综上所述,被动型礁控矿床的共同特点是:(1)生物礁岩由于自身孔渗性好和富含有机质而成为矿液流通和沉淀的最有利的物理-化学环境;(2)生物礁早期是同期沉积的高点,埋藏后因差异压实而更加突出了周围潟湖或盆地相矿源(或油源)岩之上(如大厂礁灰岩比同期盆地相页岩厚3倍以上),褶皱后往往构成背斜核部,是油气和其它矿液运移汇集的有利部位;(3)生物礁多沿沉积相变带分布,而这一带往往又邻近同沉积断裂。这种断裂起着早期控制沉积相展布,后期作为矿液通道的双重作用。因此,虽然生物礁是被动的“矿捕”,但却占据了得天独厚的沉积和构造位置;(4)金属矿形成之前生物礁岩中往往有过古油气藏阶段,它的存在不但给金属沉淀造成了有利的地球化学环境,而且为成矿提供了大量的硫;(5)一般只有在位于靠近古陆的海侵超覆底部碎屑岩之上的生物礁(层)相,成为储矿部位的可能性最大,这一点在江南古陆南缘环江至泗顶一带泥盆系中尤为明显。

总 结

1. 中国南方广泛分布的礁控矿床是密西西比型层控矿床的重要类型。其成矿过程与生物礁所处的古地理位置,礁的类型及礁的发育演化有着密切的关系。根据生物礁在成矿过程中的作用,可把这类矿床分为3种基本类型,即直接型(或称沉积-成岩型),间接型(或称早期成岩型)和被动型(或称后成型)。其成矿机理及相互关系如图3所示。

2. 礁在成矿过程中的作用根据具体情况而论,并不是所有礁控矿床的成因都与生

[4] 四川高校编辑出版发行中心, 1986, 广西泗顶—古丹矿田的地质特征和矿床成因及成矿预测。智力丛刊。

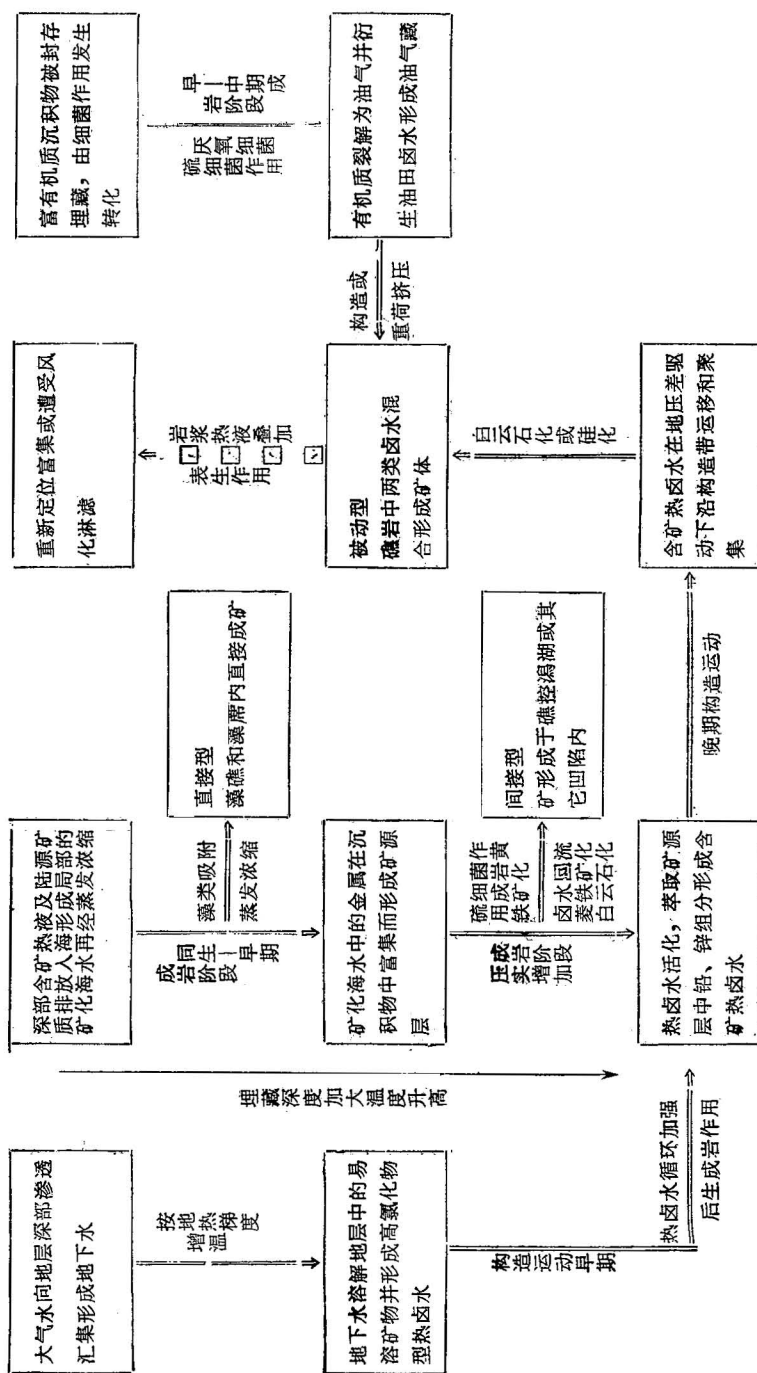


图5 中国南方礁控矿床成矿过程及相互关系示意图

(据郑荣才, 田洪洪, 1987)

Fig. 5 A sketch of the mineralogenetic process of reef-controlled deposits in southern China and the relationship (After Zheng Rongcai and Tian Hongjun, 1987)

物礁的微相有关,对于前寒武纪或早古生代的叠层石藻礁来说,礁本身即可作为找矿的重要标志;对于黄铁矿和菱铁矿一类的礁控层状矿床来说,应在靠近古陆一侧与生物礁配套的潟湖(或台盆)相中进行勘探;对于其它大量的铅、锌、锑等礁控矿床来说,情况要复杂得多,需综合考虑沉积、成岩、构造甚至岩浆活动等因素。一般说来,礁控矿床只占某一矿区矿床组合的一部分(如广西大厂、泗顶及湘西花垣)。

3. 生物礁岩是否含矿还与所处层位有关,只有那些位于海侵旋回底部碎屑岩之上的礁岩储矿的可能性最大。因此在华南地区泥盆纪时,随着海水由南往北推进,含矿层位逐渐升高。在同一纬度时盆地内的矿化层位早于台地。在同一地区矿化层位则是随海侵而向古陆方向依次超覆。

4. 区域性断裂在沉积期控制了沉积相的展布,决定了礁组合的位置和规模。在成岩-成矿期决定了成矿热卤水的运移方向和速度。因此华南地区多数层控矿床都集中在几条大断裂附近或断裂的交汇处^[1]。生物礁岩要成为储矿构造的条件一要邻近多期活动的断裂;二要邻近古陆。当二者皆不具备时,很难成为金属矿床,但可能成为油气藏。如二叠纪的广南台盆边缘礁滩带(包括宁明县亭亮藻礁),以及川东、鄂西的二叠系海绵礁带。

5. 许多礁岩中古油气藏的存在,不但造成了有利于矿质沉淀的物理-化学环境,而且提供了成矿所需要的硫。研究礁岩中残留沥青和有机碳能得到有关成岩温度、地球化学背景及物质来源等重要信息,对此应有足够的重视。

6. 在我国南方碳酸盐地层中,大量形成铅、锌等多金属矿床是与该区所处的大地构造位置分不开的。例如在海西-印支期,华南地区正处于滇青藏洋板块与太平洋板块共同作用的三角地带,因而促使该区弧后盆地发生了平行于这两个板块俯冲带的弧后微扩张和裂陷运动,造成了这一带明显受基底断裂控制的碳酸盐陆缘海上台(地)-(台间)盆交错的古地理格局。大量的深部热液在扩张过程中沿断裂上涌,造成了局部的矿化海水及热卤水在深断裂后期继承性活动过程中继续排放,并与地层水和油田水的混合,是华南地区泥盆系形成大量多金属矿床的基本原因^[2]。

参 考 文 献

- [1] 冉崇英, 1983, 东川式层控铜矿的成矿模式。中国科学, 第3期, 第249—257页。
- [2] 龚琳、王承尧, 1981, 论“东川式铜矿”的成因。地质科学, 第3期, 第203—211页。
- [3] 曾允孚、王正瑛、田洪均, 1982, 广西大厂龙头山矿区矿床成因新探。成都地质学院学报, 第3期, 第15—28页。
- [4] 周怀玲、罗其怀、黄天佑等, 1985, 广西环江泥盆纪生物礁。岩相古地理文集, 第1期, 第103—121页, 地质出版社。
- [5] 曾允孚、刘文均、张锦泉, 1986, 南岭泥盆系层控矿床特征及控矿条件。成都地质学院学报, 第13卷, 第3期, 第3—11页。

REEF-CONTROLLED MINERAL DEPOSITS IN SOUTHERN CHINA

Zeng Yunfu and Tian Hongjun

(Chengdu College of Geology, Chengdu, Sichuan)

Abstract

Reef-controlled mineral deposits distributed extensively over southern China form an important Mississippi-type of stratabound deposit. In this paper reef-controlled mineral deposits are divided into 3 types based on the relative importance of organic reefs in the ore-forming processes. They are: 1. direct type: reef-building organisms directly absorb and collect ore-forming elements through their own living action; 2. indirect type; the ore-forming processes take place in a reef-controlled lagoon or other depressions; 3. passive type: reef rocks only provide an ore-housing space and a favourable geochemical environment.

Several typical deposits have been discussed, and the ore-formation mechanisms are summarized and discussed. It is thought that the role of reefs in the ore-forming processes should be judged according to specific circumstances. For the algal reefs, the reef rock itself can serve as an important indication for exploration. For some stratiform deposits such as pyrite and siderite deposits, exploration work should be carried out in a reef-controlled lagoon near the oldland. For the bulk of reef-controlled lead-zinc and antimony deposits, it is necessary to make synthetic studies of relevant factors such as deposition, diagenesis and structure. The syndepositional fault controls the distribution of different sedimentary facies in the depositional period, and then, the migration direction of thermal brines and the position of mineralization. The presence of a paleo-reservoir of oil and gas in organic reefs or banks not only provides a favourable geochemical environment for the precipitation of ore-forming elements, also abundant sulfur.

The fundamental cause of reef-controlled mineral deposits formed in carbonate rocks in southern China is the tectonic setting of this region. For instance, in the Hercynian-Indosinian period southern China was a triangle zone affected by both the Yunnan-Qinhai-Tibet oceanic plate and the Pacific plate. The intense back-arc spreading and rifting not only produced a sedimentary framework characterized by alternating arrangement of platforms (trenches) and basins, which were apparently controlled by basement faults as well, and also caused a great quantity of ore-forming thermal fluids to rise, thus forming local mineralized sea-water. If the mineralized sea-water (plus later thermal brines) was adjacent to a suitable sedimentary or tectonic setting (e.g. reef rocks occurring in the core of an anticline), a stratabound deposit might be formed.

作者简介 曾允孚,生于1927年,1950年起从事地质教育工作,现任成都地质学院沉积地质矿产研究所所长(教授),并从事沉积学、碳酸盐岩、矿床沉积学研究。